

● 刘永绣 编著

板桩和地下墙码头的 设计理论和方法



BanZhuang He DixiaQiang Matou de
Sheji Lilun He Fangfa



人民交通出版社
China Communications Press

板桩和地下墙码头的 设计理论和方法

● 刘永绣 编著



人民交通出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

板桩和地下墙码头的设计理论和方法 / 刘永绣编著.
北京: 人民交通出版社, 2006.7
ISBN 7-114-06084-X

I. 板... II. 刘... III. ①板桩码头-设计②地下
连续墙-码头-设计 IV. U656.102

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2006) 第 080976 号

书 名: 板桩和地下墙码头的设计理论和方法

著 作 者: 刘永绣

责任编辑: 孙毓华

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.chinasybook.com> (中国水运图书网)

销售电话: (010)85285376, 85285956

总 经 销: 北京中交盛世书刊有限公司

经 销: 人民交通出版社交实书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 850×1168 1/32

印 张: 7.625

字 数: 172 千

版 次: 2006 年 8 月第 1 版

印 次: 2006 年 8 月第 1 次印刷

书 号: ISBN 7-114-06084-X

印 数: 0001—2000 册

定 价: 30.00 元

(如有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

内 容 概 要

本书系统地阐述了港口工程码头结构的三大结构型式之一——板桩码头各种结构型式的设计理论和方法,以及国内外板桩码头结构的发展情况,并根据作者40多年的设计和实践经验,论证了目前在设计理论和方法方面存在的有关问题、设计中应注意的问题和应采取的处理方法。

随着码头结构向大型化、深水化方向的发展,作者主持开发了新结构型式——遮帘式板桩结构及相应的计算理论和方法,由于这种结构系首创,故国内外目前还没有相应的计算理论和方法,作者在本书中对其所提出的计算理论和方法做了较详细的论述,可供读者参考。



序一

板桩码头和地下连续墙码头是水工三种主要结构形式之一,在港口建设中具有重要作用。国外的板桩结构应用十分广泛,但我国由于这方面起步较晚,所以板桩码头多偏重于中小型码头,在大型深水板桩结构上应用较少。

随着船舶大型化趋势,码头也必然向大型化、深水化发展。为提高我国板桩和地下连续墙结构的应用水平,本书作者多年来对此结构形式及设计理论进行了研究,其设计理论成功地应用于唐山港京唐港区和曹妃甸港区的大型深水泊位建设,取得了较好的效果,是我国水运工程建设技术的创新之作。

目前,板桩和地下连续墙的结构计算理论还不成熟,仍是国际学术界讨论的焦点问题。为进一步总结,提高、推广先进设计经验和建设技术,提倡水运工程建设的自主创新意识,本书的出版发行将会起到很好的作用。

2006年8月22日



序二

板桩码头是港口工程码头建筑物的一种主要结构型式,在国内外都得到广泛的应用。本书作者刘永绣教授级高级工程师 40 多年来主要从事港口和船厂工程的结构设计工作,业绩卓著,于 1994 年获天津市授衔专家的称号。长期以来,作者结合港口工程设计实践,致力于板桩码头和地下连续墙码头计算理论和设计方法的研究,在交通部第一航务工程勘察设计院主编的《海港工程设计手册(中册)》中撰写“板桩码头”一章,全面地总结了板桩码头的设计理论和方法,成为国内在设计板桩码头和护岸等建筑物时的主要参考文献。

结合唐山港京唐港区挖入式港池的特点,交通部第一航务工程勘察设计院于 1989 年设计了国内第一座万吨级钢筋混凝土地下连续墙码头,解决了一般单锚钢筋混凝土或预应力钢筋混凝土板桩码头只适用于建造中、小型码头的问题。为了适应海港码头深水化的发展趋势,本书作者提出并带领有关设计人员开发出了半遮帘式和全遮帘式地下连续墙码头新结构型式,使得采用地下连续墙建造 10 万吨级深水码头成为可能。

与前述《海港工程设计手册(中册)》中撰写的“板桩码头”一章相比,本书的内容大为丰富,而且反映了以下

的重要进展:

(1)根据《港口工程结构可靠度设计统一标准》的要求,将过去以安全系数表达的定值设计法改为以分项系数表达的极限状态设计法。

(2)新增了地下连续墙的内容,特别是有关半遮帘式和全遮帘式地下连续墙码头的计算理论和方法,是配合新结构开发而提出来的,也是其他类似书籍中所没有的。

(3)根据作者近年对欧洲技术考察的成果,在书中介绍了国外有关采用组合式钢板桩墙和大坡度斜拉桩等适合于建造深水码头的结构型式,并结合我国国情,提出分离式卸荷式板桩码头的结构型式,可供有关设计参考。

因此,本书不是作者以前著作简单的增补和修订,而是一部适用于 21 世纪港口建设深水码头建筑物要求的全新的专著,具有重要的理论意义和实用价值。

谢世禄

2006.1.16



前言

码头结构历经发展,迄今为止结构型式依然归类于三大类,即重力式、高桩承台式和板桩式。我国建国以来,港口建设蓬勃发展,各种结构型式的建设技术都取得了长足进步,然而相比之下,板桩码头的建设技术却滞后于重力式和高桩承台式码头。尤其是随着船舶的大型化发展,码头建设也迅速向大型化和深水化方向发展,板桩码头却迟迟难以起步。我国建国 50 年来,建设的板桩码头充其量不足 300 个泊位,而其中 85% 以上为中、小型码头,于是不少人认为板桩码头只适用于中、小型码头。果真如此吗?并非如此。经过技术开发,2 个 5 万吨级泊位和 4 座 10 万吨级的新型板桩码头已设计并建成。

制约板桩码头向深水化发展的主要因素:

(1) 过去常用的预应力钢筋混凝土板桩,因受起重和沉桩能力的限制,断面不可能做得很大,而板桩弯矩随着码头水深的加大而增加的很快,使得预应力钢筋混凝土板桩难以承受;

(2) 一般的钢板桩也难以承受很大的弯矩,同时造价也较贵;

(3) 设计技术不够成熟。

近年来,板桩码头的建设技术已取得新的进步:

(1) 板桩码头的前墙采用地下连续墙结构已取得经验,现浇地下连续墙的混凝土强度可达 C40 以上,断面可加大到足以承受较大弯矩的厚度;2002 年我们又开发出一种新的板桩结构型式——遮帘式板桩码头结构,可建设 10 万吨级以上的码头;

(2) 各种组合式板桩的发展及板桩截面抵抗矩的大幅度增

加,使得板桩岸壁可承受愈来愈大的弯矩;

(3)各种板桩码头结构型式的革新,为板桩码头向大型化、深水化方向发展创造了有利条件;

(4)造价方面,板桩码头究竟贵不贵,以 10 万吨级码头为例进行比较如下:

遮帘式地下连续墙板桩码头的每延米造价为 20 万~25 万元人民币,如:京唐港四港池 31 号和 32 号泊位;

组合钢板桩混合式码头每延米造价为 3.0 万~4.5 万欧元(约合人民币 40 万元左右),如:德国不来梅港 CT3A 集装箱码头投资 9500 万欧元、于 2001 年开工建设的,总工期 2 年,码头长度 340m,码头前沿水深 17.5m,则每延米造价为 $9500 \text{ 万欧元} / 340 \text{ m} = 2.79 \text{ 万欧元/m}$ 。

高桩码头向深水码头发展时,一般需采用钢桩桩基,每延米造价为 40 万~70 万人民币。

可见板桩码头在经济上的合理性是存在的。板桩码头有施工工序简单、工期短、耐久性和对局部超载的适应性比高桩梁板码头好的特点,国外如欧洲各国的码头,除栈桥式之外,几乎都是采用板桩式结构,这一现实值得我们深思。

20 世纪 80 年代以前,我们编写的《海港码头设计手册》和其他学者所撰写的书籍中,虽然都阐述了板桩码头的内容,但随着板桩码头结构的发展,一方面产生了一些新的型式,如遮帘式板桩码头新结构等,另一方面在计算理论和方法上也有一些新的思路;而对板桩码头本身,在结构的系列化方面也不够统一和全面。本书除拟将近年来板桩码头的发展做一些补充之外,也试图在系列方面做一些综合和归纳,过去一般把板桩码头归类于有锚、无锚和斜拉板桩等,本书拟将板桩码头分类为:无锚、单锚、多锚板桩码头,斜拉板桩码头,遮帘式板桩码头,卸荷式板桩码头,带前、后板桩的高桩码头,双排板桩码头和格形板桩码头等。

本书的编著是为促进板桩码头的建设,尤其是深水板桩码头在我国的推广和发展。当我国经济与国外接轨之时,技术上的接

轨是必然的,吸取国外的经验,发展我国的板桩码头建设技术正是大好时机,进一步开发我们的新技术和吸取国外技术便是本书的目的。

本书编著中,交通部水运司领导给予了亲切的指导、关怀和极大的支持;肖大选司长亲自为本书作“序”在此致以衷心感谢!

中国工程院谢世楞院士在百忙之中为本书作“序”,在此致以衷心感谢!

书中撰写的遮帘式板桩码头新结构的开发,是我与吴荔丹高级工程师、李元音教授级高级工程师等同志合作,共同努力取得的成果;中交第一航务工程勘察设计院朱吉全副书记、唐山港投资有限公司董文才总经理、王成环总工程师和于泳总工程师等同志给予我极大的支持和帮助;南京水利科学研究院蔡正银所长、王剑平总工、徐光明主任、李景林博士、焦志斌和曾友金等同志在模型试验和现场测试中与我密切合作,提供了可靠的数据依据。均在此致以衷心地感谢!

书中介绍的遮帘桩具有遮帘土压力效果的概念,在 20 世纪 60 年代以前就已有学者提出来了,但利用这个概念推出遮帘式板桩码头新结构则是中交第一航务工程勘察设计院 2002 年开发出来的新成果,包括新的计算方法的提出。

本书是在我撰写的《海港码头设计手册》(中册)第四章的基础上,总结近年来板桩码头的发展及个人在设计中的收获、认识和经验体会,加以补充提高而写成的。撰写中也学习了许多专家的文章(参考文献)。文中阐述的本人的一些经验、体会和肤浅的见解,因水平所限,难免有谬误之处,还望各位专家学者多多纠正和指点,不胜感谢。

编著者

2005 年 8 月



目 录

第一章 概述	1
第二章 板桩码头的结构型式	9
第一节 无锚板桩	10
第二节 单锚板桩	11
第三节 双锚板桩	14
第四节 长短板桩组合或主辅板桩组合	16
第五节 斜拉板桩	18
第六节 卸荷式板桩码头结构	20
第七节 遮帘式板桩码头结构	34
第三章 板桩码头构件	39
第一节 板桩码头结构的组成	39
第二节 前墙	40
第三节 拉杆	56
第四节 锚碇结构	77
第五节 帽梁、导梁及胸墙	79
第六节 斜拉板桩码头	80
第七节 卸荷式板桩码头	81
第八节 遮帘式板桩码头	86
第九节 其他构造	87
第四章 作用和作用效应组合	89
第一节 作用	89
第二节 作用效应组合	105

第五章 单锚、多锚和无锚板桩码头的计算	110
第一节 单锚板桩	110
第二节 无锚板桩	153
第三节 双锚和多锚板桩	157
第六章 斜拉板桩结构	162
第一节 简化计算法	162
第二节 组合式悬臂梁法	163
第三节 刚架计算法	176
第四节 本书建议法	179
第七章 遮帘式板桩码头结构计算	184
第一节 概述	184
第二节 遮帘式板桩码头计算理论和方法	185
第三节 离心模型试验与计算结果的比较	194
第八章 卸荷式板桩码头结构计算	198
第九章 带前、后板桩的高桩码头结构计算	202
第一节 顶端嵌固的板桩	202
第二节 高桩承台的前板桩	205
第三节 高桩承台后板桩	209
第十章 格形板桩码头结构计算	211
第一节 计算内容及假设	211
第二节 抗滑和抗倾稳定计算	212
第三节 抗剪切稳定性计算	212
第四节 钢板桩环向抗拉强度计算	220
第五节 地基承载力、变位、沉降和深层稳定等的计算	222
第十一章 防腐设计	223
第一节 腐蚀速度	223
第二节 防腐措施	224
参考文献	229



第一章 概 述

板桩码头是三大码头结构型式之一,在合适的条件下,其优点是施工速度快、工期短、造价省;与高桩承台式码头相比,适应局部超载的能力比较强,耐久性好。

板桩码头的结构型式较多,典型的板桩码头结构型式是无锚板桩、单锚板桩和双锚板桩结构。随着工程技术的发展,不断推出一系列新的结构型式,如斜拉板桩式等。应该说明的是,我国国内所做的所谓斜拉板桩码头都是些小码头,其原因是受施工技术的制约——只能打 3:1 或更陡的桩,则承受水平力的能力很差。国外的斜拉板桩的斜桩的斜度是 1:1 ~ 1.5,使得斜拉板桩结构可用于 10 万吨级以上的板桩码头,显然值得我们学习。

近年,我们又推出了遮帘式板桩码头和卸荷式板桩码头新结构,使得板桩码头结构终于可以向深水化方向大踏步地迈进了。

典型的板桩码头结构是由前墙(板桩或地下连续墙)、拉杆和锚碇结构三大部分组成。

前墙可采用钢筋混凝土板桩结构、预应力钢筋混凝土板桩结构、现浇地下连续墙结构、预制地下连续墙插板结构和钢板桩结构。钢板桩包括 U 型、Z 型、工字型(H 型)等多种型式和各种组合型钢板桩,如 HZ/AZ 型等。本文将给出近年来生产的较优秀的上述各种钢板桩产品的型式、规格、尺寸及力学参数。

很早以前工程上曾用过木制板桩,由于其力学性能较差及来

源不足,近年来已极少采用。

前墙的上部设有导梁、帽梁或胸墙,共同组成前墙结构。

锚碇结构,可采用现浇或预制钢筋混凝土锚碇板、钢桩或钢板桩、现浇或预制钢筋混凝土锚碇墙、现浇或预制钢筋混凝土锚碇桩或板桩、现浇或预制地下连续墙、现浇或预制的钢筋混凝土叉桩和钢叉桩等。钢筋混凝土桩、板桩、钢桩、钢板桩、钢筋混凝土叉桩和钢叉桩的上部应有帽梁、导梁或两者合一。

前墙与锚碇结构之间用拉杆连接,拉杆可采用钢拉杆和钢绞线等材料制作。

斜拉板桩是用斜拉桩作为锚拉结构,也可以采用斜拉钢绞线,俗称土锚,斜拉桩宜采用钢桩。

遮帘式板桩码头新结构是利用前墙后面的遮帘桩来减小作用于前墙的土压力。遮帘桩采用较大的刚度可获得极好的遮帘效果。前墙与遮帘桩间的土体实际上也参与抗弯工作,从而产生较好的效应。遮帘式板桩结构分为半遮帘式和全遮帘式两种,半遮帘式结构是板桩码头加深改造的最佳结构型式,全遮帘式结构则是广泛适用的新结构型式。

卸荷式板桩码头结构是利用低于地面的卸荷平台来减小前板桩土压力的组合结构,卸荷平台可与前板桩分离连接,也可以整体连接,锚碇系统可采用斜拉桩,也可采用拉杆。

高桩承台与前板桩或后板桩结合的结构,其设计方法应主要在高桩码头设计中介绍,本书只在一些特殊方面做一些介绍。

格型钢板桩结构是由一字形钢板桩构成格体,目前所做的工程,其板桩入土深度一般较浅,作为结构整体,其作用机理更接近于重力式结构,本文不做深入介绍。

板桩码头的计算理论和方法至今仍处于不完全成熟阶段。对典型板桩码头结构,归纳起来大致可有弹性线法、竖向弹性地基梁法和自由支承法等3种。

弹性线法是古典算法,实践证明,对柔性板桩墙是适用的,但其假定是板桩最大正弯矩与最大负弯矩之比为 $1.15 \sim 1.20$,则板桩底端应处于弹性嵌固状态。设计者在计算之前并不知道前板桩底端是否符合这一条件,所以,在计算之前如何判定应该用这种方法计算的标准是值得研究的。

前墙的受力模式是超静定结构,作为超静定结构,其内力的大小必然与前墙的刚度有关系,然而弹性线法计算的内力结果与前墙的刚度不发生关系,这是这种计算方法的不合理之处。

为了进行各个作用(荷载)的作用效应组合,则应先将各个作用(荷载)乘以各自的分项系数分别求出其作用效应,然后进行叠加,但弹性线法若按各个作用(荷载)分别计算作用效应,则由于各个作用分别计算的前墙入土深度不同,因此,作用效应无法叠加,难以实现作用效应组合,只好采用综合分项系数。

自由支承法是一种极其粗糙的计算方法,显然是不理想的,只是在极少数的情况下才采用这种计算方法。

看来竖向弹性地基梁法是一种比较好的计算方法,其中 m 法应用较广,但其中仍有许多有待研究的地方,譬如板桩墙泥面以下部分向前变位和向后变位的水平地基反力系数应该是不一样的,而以前的计算是取一样的,会造成一定误差;另如板桩墙后的土压力,泥面以下取矩形分布,严格地说也是不准确的。另外,随着板桩码头深水化的发展,前墙泥面处的变位往往会大于 10mm ,超出了现行《板桩码头设计与施工规范》(JTJ 292—98)附录所给出的 m 值的适用范围,也有进一步研究的必要。

斜拉板桩目前已有一些计算方法,但是各种方法均不够准确,存在不少粗糙之处,较精确的计算方法还有待进一步研究完善。

遮帘式板桩码头和卸荷式板桩码头新结构刚刚开发出来,几种计算方法在不断完善中,将在以下的章节中介绍。

作用于前墙的土压力的分布,目前有多种假定:前苏联的 Г. А. 杜勃洛瓦教授提出 R 形分布,德国和欧洲标准也提出在有预拉杆力时矩形重分布方法,所有假设实际上都取决于前墙变位的情况。在这些方面,我国的试验研究比较少,应该借鉴国外的研究成果,并创造条件做更多的研究。

钢拉杆、钢板桩、钢桩、钢导梁及各种金属附件的防腐处理关系到码头结构的耐久性,无疑是至关重要的。目前国内外的处理方法大体上分为 4 种,即防腐涂层、阴极防腐、材质成分和预留厚度。国外更侧重预留厚度法,国内的拉杆防腐采用的两毡三油及裹以灰土的处理方法也独具特色。

高强钢拉索用于板桩码头在我国还是空白,国外却早已使用,如何充实到我国的板桩码头建设中,有待于进一步做工作。

我国建国以来,码头建设技术有很大发展,但在板桩码头建设方面,相对较少。建国 50 年以来,据不完全统计,建设板桩码头约近 300 个泊位,但其中有 200 多个泊位是中、小型码头,占 85% 以上,可见多年来板桩码头基本上是由于中、小型码头的建设。1989 年在京唐港开始建设 3.5 万吨级的地下连续墙式板桩码头,成为当时全国最大的典型式板桩码头。而国外的情况却大不相同,现以鹿特丹港码头结构的发展历史为例,剖析一下板桩码头结构在码头三大结构型式应占有的份位。

鹿特丹港可谓是世界最大的港口之一,发展历史也很长。其码头岸壁结构在 1870 年开始采用木桩结构,后来采用沉箱结构,1906 年采用下述施工方法:预制混凝土沉箱,将其浮运至施工现场,再座落到处理后的地基上,将挡土功能和系泊功能融合到一个大型构件上,此时的水深可达到 13m。

将沉箱用于码头岸壁的设想产生于岸壁维修工程。1905 年,斯布维哈芬港区岸壁损坏严重需要维修,而码头深基和岸壁附近的建筑使维修工作变得很复杂。采用了钢筋混凝土沉箱作为上

部结构可以克服这种困难,施工取得了很大成功。1906年,在圣佳伯哈芬港区(St. Jobhaven,)修建了200m的沉箱试验段。之后,1908年在帕克哈芬港区(Parkhaven)和诗哈芬港区(Schiehaven),1913~1916年间在依基瑟(Ijsse)和雷克哈芬港区(Lekhaven),1920~1921年在瓦尔哈芬港区(Waalhaven)都修建了这样的沉箱结构。

1930年,在摩威哈芬(Merwehaven)修建了403m长、水深10m和1248m长、水深12m的沉箱结构岸壁,至此沉箱岸壁结构进入黄金时代。然而,1930年后,大规模的钢板桩开始被广泛使用,沉箱结构失去了往日的光彩,因为钢板桩无需大量的回填砂,且沉箱价格在当时上涨得很厉害。1930年以后,开始采用钢板桩结合混凝土斜桩作为挡土墙,混凝土上部结构为板或梁,有时采用L形结构。最大水深约为22m。

首先是瓦尔哈芬港区,1947~1962年间沿1号和2号码头建设了约38km的钢板桩岸壁,1961年正当港口向工业港口转变的时期,爱姆哈芬港区也提供了很好的建港机会。当时人们决定,爱姆哈芬港区二期南侧和整个爱姆哈芬港区三期将完全装备用于件杂货的装卸,港口将扩建,水深浚深至阿姆斯特丹零点以下11.65m,采用了板桩与桩基承台相结合的混合式结构,即带前板桩的高桩承台式结构(图1-1)。接下来,自1963年开始建设爱姆哈芬四期和五期工程,即4.7km的岸壁,水深为阿姆斯特丹零点以下13.65m,包括10个集装箱泊位。

1971年建设的马斯福雷克特(Maasvlakte)码头是一个典型的可停靠275000吨级大型远洋散货船的综合港口,建在比尔运河(Beercanal)边的(约890m长的)靠海侧码头岸壁与敞海连接,另一侧建在哈特尔运河(Hartelcanal)边的内河码头岸壁停靠内河船舶,采用了前板桩与桩基承台相结合的混合式结构和斜拉板桩与桩基承台结合的结构,如图1-2和图2.5-2所示,分别为靠海侧和内河侧码头的结构型式。